Iranian Journal of Field Crops Research
Homepage: https://jcesc.um.ac.ir

Research Article
Vol. 22, No. 1, Spring 2024, p. 15-30

Correlation Coefficients and Factor Analysis for Morpho-physiological and Biochemical Attributes Affecting the Yield and Yield Components of Desi-type Chickpea (*Cicer arietinum* L.) Genotypes

J. Nabati[1*], A. R. Hasanfard[2], A. Nezami[3], M. Zare Mehrjerdi[4]

1- Assistant Professor, Crop Physiology, Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran
2- Ph.D. in Weed Science, Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran
3- Professor, Crop Physiology, Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran
4- Assistant Professor, Biotechnology, Agriculture Faculty of Shirvan, University of Bojnord, Bojnord, Iran
(*- Corresponding Author Email: jafarnabati@um.ac.ir)

Received: 31 December 2022 Revised: 11 February 2023 Accepted: 30 April 2023 Available Online: 30 April 2023	**How to cite this article:** Nabati, J., Hasanfard, A. R., Nezami, A., & Zare Mehrjerdi, M. (2024). Correlation Coefficients and Factor Analysis for Morpho-physiological and Biochemical Attributes Affecting the Yield and Yield Components of Desi-type Chickpea (*Cicer arietinum* L.) Genotypes. *Iranian Journal of Field Crops Research, 22*(1), 15-30. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jcesc.2023.80332.1214

Introduction

Chickpea (*Cicer arietinum* L.) is one of the most important crops in the human food basket worldwide. It is a highly nutritious pulse crop with low digestible carbohydrates, protein, essential fats, fiber, and a range of minerals and vitamins. As the human population grows, the demand for this protein source increases and various approaches to its sustainable products are being developed. Autumn cultivation of chickpea in cold regions requires the introduction of cultivars tolerant to freezing stress. The ability of plants to overwinter depends on the biochemical and physiological responses induced by their cold acclimation duration. Cold acclimation mechanisms in the plant are a fundamental reason for plant tolerance increase in autumn cultivation. Hence, investigating the mentioned traits can help identify cold-tolerant genotypes. Identifying attributes that provide a suitable description of the diversity between genotypes is critical through canonical correlation analysis, cluster analysis, and determining the genetic distance.

Materials and Methods

This experiment was conducted during the 2017-18 growing season in the research field of Ferdowsi University of Mashhad, Iran (Lat 36° 15′ N, Long 59° 28 E; 985 m Altitude). Chickpea germplasm, including 29 Desi-type chickpea genotypes and one cold tolerant cultivar (cv. *Saral*), was studied in terms of morpho-physiological and biochemical attributes and their relationship with yield and yield components. Chickpea seeds were provided from the Mashhad chickpea collection at the Research Center for Plant Science. Following seedbed preparation by ridge tillage in October 2017, chickpea seeds were sown with a density of 40 plant m^{-2}. Irrigation was conducted three times during the growth period: immediately after sowing, two weeks after the first irrigation and flowering stage. Hand-weeding was done three times during the growth stage in early March, early April, and early May. Data were analyzed using the SAS 9.4 software, and the mean comparison was

https://doi.org/10.22067/jcesc.2023.80332.1214

performed by the Duncan Multiple Range Test (DMRT) at a 5% probability level. Statistica software also performed a cluster analysis (based on Euclidean distance) and principal component analysis (PCA).

Results and Discussion

Evaluating the morpho-physiological performance of chickpea genotypes is valuable for breeding programs that integrate chickpea cold tolerance. Based on Pearson's correlation coefficient results, a significant positive correlation was observed between the survival of chickpea germplasm with seed yield and biological yield. Also, a significant negative correlation between survival with photosynthesis pigment content and *Fv'/Fm'* revealed a high relationship between these parameters. Traits with the highest canonical discriminate coefficients had the best effect on the diversity across the studied genotypes. Based on the factor analysis results, the first factor with 22.8%, and the second with 12.1% explained the most differences. In the first factor, the most critical traits with a positive charge are *Fv'/Fm'*, the total content of photosynthetic pigments, starch, the number of fertile pods, and the number of seeds, and the critical trait with a negative charge was the survival. The genotypes of the five cluster analysis groups had a higher mean in 54% of the traits compared to the total mean. The crossing of genotypes of group one due to higher survival and seed yield and genotypes of group five due to plant height and first pod height (compared to the total mean), which also have a considerable genetic distance, can lead to the release of new varieties. Also, the genotypes of the three cluster analysis groups (MCC32, MCC34, MCC155, MCC194, MCC199, and MCC291) have high-priority traits for selection by breeders and can be used in breeding programs for autumn cultivation.

Conclusion

According to the results of the present study, selection for successful overwintering of desi-type chickpea genotypes in cold regions is recommended based on the mentioned characteristics in breeding programs. The group three chickpea genotypes of cluster analysis (MCC32, MCC34, MCC155, MCC194, MCC199, and MCC291) and morpho-physiological and biochemical attributes affecting the yield and yield components determined from this study may be helpful for genetic engineering and breeding programs that integrate chickpea cold tolerance.

Keywords: Autumn planting, Cluster analysis, Germplasm, Photosynthetic pigments, Survival

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
Homepage: https://jcesc.um.ac.ir

مقاله پژوهشی
جلد ۲۲، شماره ۱، بهار ۱٤۰۳، ص ۳۰-۱۵

ضرایب همبستگی و تجزیه به عامل‌های صفات مورفوفیزیولوژیک و بیوشیمیایی مؤثر بر عملکرد و اجزای عملکرد ژنوتیپ‌های نخود (*Cicer arietinum* L.) تیپ دسی

جعفر نباتی[1*]، علیرضا حسن فرد[2]، احمد نظامی[3]، محمد زارع مهرجردی[4]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۰/۱۰
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۲/۱۰

چکیده

شناسایی صفاتی که توصیف مناسبی از تنوع بین ژنوتیپ‌ها ارائه می‌دهند از طریق تجزیه تابع تشخیص کانونیکی، تجزیه خوشه‌ای و تعیین فاصله ژنتیکی امکان‌پذیر است. درهمین راستا، ۲۹ ژنوتیپ نخود تیپ دسی و یک رقم تیپ کابلی (سارال) ازنظر صفات مورفوفیزیولوژیک و بیوشیمیایی و ارتباط آن‌ها با عملکرد و اجزای عملکرد در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد در سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶ مورد ارزیابی قرار گرفتند. درصد بقای ژرم‌پلاسم نخود به‌طور معنی‌داری با محتوای رنگ‌دانه‌های فتوسنتزی و کارایی فتوسیستم II (Fv′/Fm′) همبستگی منفی و با عملکرد دانه و زیست‌توده همبستگی مثبت داشت. بر اساس نتایج تجزیه به عامل‌ها، عامل اول با ۲۲/۸ درصد و عامل دوم با ۱۲/۱ درصد بیش‌ترین تغییرات را توجیه کردند. در عامل اول، مهم‌ترین صفات دارای بار مثبت عبارت بودند از Fv′/Fm′، محتوای کل رنگ‌دانه‌های فتوسنتزی، محتوای نشاسته، تعداد غلاف بارور و تعداد دانه و صفت مهم دارای بار منفی درصد بقا بود. ژنوتیپ‌های گروه پنج تجزیه خوشه‌ای در ۵۴ درصد از صفات، میانگین بیشتری در مقایسه با میانگین کل داشتند. تلاقی ژنوتیپ‌های گروه یک به علت درصد بقای زمستانه و عملکرد بالاتر و ژنوتیپ‌های گروه پنج به علت ارتفاع بوته و ارتفاع اولین غلاف بیشتر (در مقایسه با میانگین کل) که از فاصله ژنتیکی زیادی نیز برخوردار بودند می‌تواند به معرفی ارقامی با عملکرد بالا با قابلیت کشت پاییزه و برداشت مکانیزه منجر شود. همچنین، ژنوتیپ‌های گروه سه تجزیه خوشه‌ای (MCC32، MCC34، MCC155، MCC194، MCC199 و MCC291)، صفات با اولویت بالا برای گزینش توسط اصلاح‌گران را داشته و می‌توانند در برنامه‌های به‌نژادی برای کشت پاییزه موردتوجه قرار گیرند.

واژه‌های کلیدی: بقا، تجزیه خوشه‌ای، رنگ‌دانه‌های فتوسنتزی، ژرم‌پلاسم، کشت پاییزه

مقدمه

نخود (*Cicer arietinum* L.) منبع مناسبی از پروتئین، چربی، فیبر و کربوهیدرات‌ها است که در سراسر جهان مصرف می‌شود (Grasso, Lynch, Arendt, & O'Mahony, 2022). علاوه بر این، نخود نقش مؤثری در تثبیت زیستی نیتروژن، حاصلخیزی خاک و همچنین تعلیف دام ایفا می‌کند که به اهمیت ویژه تولید آن می‌افزاید (Jukanti, Gaur, Gowda, & Chibbar, 2012). تولید ۷۸ درصد از این محصول توسط کشورهای کم‌درآمد و با کمبود مواد غذایی (FAOSTAT, 2020) حاکی از جایگاه ویژه آن به‌عنوان جایگزین منبع پروتئین حیوانی و گزینه مناسب برای تأمین امنیت غذایی است. ایران نیز با تولید حدود دو درصد از نخود جهان در زمره بزرگ‌ترین تولیدکنندگان این محصول قرار گرفته است (FAOSTAT, 2020). در سال ۲۰۲۰، تولید نخود به ۱۵ میلیون تن رسید که در این میان کشورهای آسیایی با ۸۶ درصد از کل تولید جهانی، رتبه اول را به خود اختصاص دادند (FAOSTAT, 2020).

پاسخ رشدی گیاهان توسط بسیاری از فرآیندهای فیزیولوژیک، بیوشیمیایی و مولکولی کنترل می‌شود. دراین‌بین، شاخص‌های تبادلات گازی به‌عنوان عوامل کلیدی شناخته می‌شوند که به‌طور

۱- استادیار فیزیولوژی گیاهان زراعی، گروه اگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران
۲- دکتری علوم علف‌های هرز، گروه اگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران
۳- استاد فیزیولوژی گیاهان زراعی، گروه اگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران
۴- استادیار بیوتکنولوژی، دانشکده کشاورزی شیروان- دانشگاه بجنورد، بجنورد، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: jafarnabati@um.ac.ir)
https://doi.org/10.22067/jcesc.2023.80332.1214

قابل‌توجهی در رشد و توسعه گیاهان نقش دارند (Ashraf & Harris, 2013). فتوسنتز به‌عنوان یکی از فرآیندهای گیاهی مهم به‌شدت متأثر از تغییرات محیطی است؛ به‌طوری‌که محدودیت در فتوسنتز به علت تنش‌های محیطی به کاهش آسیمیلاسیون دی‌اکسیدکربن در گیاه منجر می‌شود و درنتیجه محدودیت فرآورده‌های فتوسنتزی، رشد و عملکرد نهایی گیاهان کاهش می‌یابد (Ashraf & Harris, 2013; Bishop & Bugbee, 1998)؛ بنابراین یکی از عوامل مهم تعیین‌کننده در عملکرد گیاهانی مانند نخود پاییزه، حساسیت به تنش یخزدگی و درنتیجه اختلال در دستگاه فتوسنتزی گیاه است که متعاقب آن با کاهش کارایی تثبیت دی‌اکسیدکربن همراه خواهد بود (Nabati, Hasanfard, Nezami, Ahmadi-Lahijani, & Boroumand Rezazadeh, 2021).

بررسی صفاتی مانند فتوسنتز، میزان تعرق، هدایت روزنه‌ای و مقاومت روزنه‌ای برای تعیین میزان عملکرد گیاهان مؤثر است. یکی از عوامل محدودکننده فتوسنتز، عوامل روزنه‌ای گیاهان است که درنتیجه کاهش هدایت روزنه‌ای، انتشار دی‌اکسیدکربن به فضای بین‌سلولی کاهش می‌یابد و همین مسئله به اختلال در روند تثبیت کربن و فرآیند فتوسنتز منجر می‌شود (Ouyang, Struik, Yin, & Yang, 2017). بررسی تغییرات عوامل فلورسانس کلروفیل به‌عنوان یک روش رایج، سریع و غیرتخریبی به‌منظور تشخیص تغییرات عملکرد دستگاه فتوسنتز در شرایط تنش یخزدگی است که میزان خسارت در فتوسیستم II را تعیین می‌کند (Hasanfard, Rastgoo, Darbandi, Nezami, & Chauhan, 2021).

محتوی نسبی آب[1] برگ یکی از عوامل مؤثر در تعیین عملکرد گیاهان است (Colom & Vazzana, 2003). پژوهشگران همبستگی مثبت و معنی‌داری بین محتوای نسبی آب برگ و عوامل فلورسانس کلروفیل با عملکرد لوبیا چیتی (*Phaseolus vulgaris* L.) گزارش کردند (Soheili movahhed, Esmaeili, Jabbari, Khorramdel, & Fouladi, 2017). بر اساس پژوهش‌های پیشین کارایی مصرف آب به‌عنوان عامل مهمی در تعیین عملکرد گیاهان زراعی است که می‌تواند از مؤلفه‌های تعیین تحمل گیاهان به تنش‌های محیطی معرفی شود (Navarrete-Campos, Bravo, Rubilar, Emhart, & Sanhueza, 2013).

گیاهان در مواجهه با شرایط متغیر محیطی، واکنش متفاوتی به تولید و انباشت مواد بیوشیمیایی از قبیل کربوهیدرات‌های محلول، نشاسته و پروتئین دارند. به‌این‌ترتیب غالباً ژنوتیپ‌های متحمل در شرایط تنش‌زای محیطی غلظت بالایی از مواد یادشده را تولید می‌کنند که باعث کاهش پتانسیل اسمزی گیاه می‌شود. درنهایت شرایط برای تولید مواد فتوسنتزی فراهم می‌شود و عملکرد گیاه نیز کمتر تحت تأثیر قرار می‌گیرد (Morgan, Rodriguez-Maribona, & Knights, 1991).

همواره در ارزیابی عملکرد و اجزای عملکرد گیاهان تحت شرایط محیطی، خصوصیات مورفولوژیکی از قبیل تعداد شاخه فرعی و ارتفاع بوته موردتوجه قرار گرفته است (Farooq *et al*., 2017). با توجه به حساسیت بالا به شرایط نامساعد محیطی در تولید گل و غلاف حبوباتی مانند نخود، به نظر می‌رسد فتوسنتز و عرضه مواد فتوسنتزی به دانه، عملکرد نهایی محصول را تحت تأثیر قرار دهد (Pang *et al*., 2016). علی‌رغم مزیت‌های کشت پاییزه، عوامل نامساعد محیطی همچون سرما و یخبندان و بقای زمستانه، عملکرد و اجزای عملکرد گیاهان را تحت تأثیر قرار می‌دهند (Nabati *et al*., 2020)؛ بنابراین ارزیابی ارتباط عملکرد و اجزای عملکرد گیاهان با خصوصیات فیزیولوژیک، مورفولوژیک و بیوشیمیایی به‌منظور انتخاب ژنوتیپ(های) برتر در شرایط تنش یخزدگی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. تجزیه تابع تشخیص از روش‌های تجزیه آماری چندمتغیره است که برای صحت نتایج حاصل از تجزیه خوشه‌ای استفاده می‌شود (Nezami, Nabati, Mirmiran, Hasanfard, & Mohammadi, 2022). آزمایش حاضر برای تعیین ارتباط عملکرد و اجزای عملکرد ژرم‌پلاسم‌های نخود با خصوصیات یادشده از طریق روش‌های آماری چندمتغیره انجام شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد (با طول جغرافیایی ۵۹ درجه و ۲۳ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۱۵ دقیقه شمالی و ارتفاع ۹۸۵ متر از سطح دریا) اجرا شد. اقلیم مشهد مطابق تقسیم‌بندی آمبرژه، سرد و خشک است و بر اساس آمار طولانی‌مدت هواشناسی، متوسط بارندگی سالانه آن ۲۸۶ میلی‌متر و متوسط حداکثر و حداقل دمای مطلق سالانه آن به‌ترتیب ۴۳ و ۲۷/۸- درجه سانتی‌گراد است.

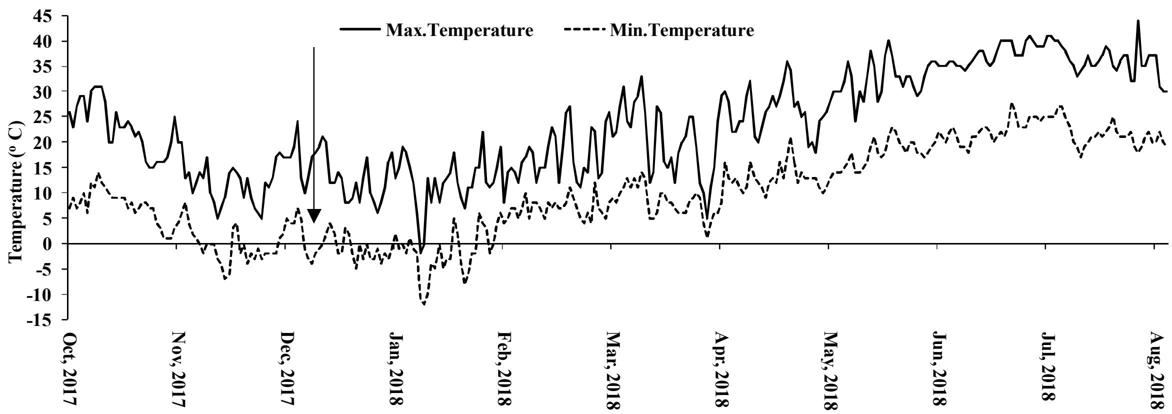
در این پژوهش ۲۹ ژنوتیپ نخود تیپ دسی و یک رقم نخود تیپ کابلی (سارال) در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با سه تکرار به‌صورت کشت پاییزه و در شرایط آبیاری تکمیلی مورد ارزیابی قرار گرفتند. ژرم‌پلاسم مورد نظر از بانک بذر پژوهشکده علوم گیاهی دانشگاه فردوسی مشهد تهیه شد. بذرها به مدت شش ساعت در دمای اتاق با استفاده از آبنوش بذر دایان محصول شرکت خوشه پروران زیست‌فناور پرایم و قبل از کاشت با استفاده از قارچ‌کش کاربندازیم (WP 60%®) به مقدار دو در هزار ضدعفونی شدند.

عملیات خاک‌ورزی شامل شخم پاییزه توسط گاوآهن برگردان‌دار و تسطیح و نرم کردن خاک از طریق سیکلوتیلر انجام شد. عملیات

1- Relative Water Content (RWC)

کاشت در تاریخ سوم آبان ۱۳۹۶ در ردیف‌هایی با فاصله ۵۰ سانتی‌متر و فاصله بوته ۶/۶ سانتی‌متر به‌صورت دستی در عمق دو سانتی‌متری خاک با تراکم ۳۰ بوته در مترمربع انجام شد (Nasiri, Nabati, Nezami, & Kafi, 2021). فاصله بین هر کرت ۱۲۰ سانتی‌متر تعیین شد. ابعاد کرت‌ها ۲×۲ متر بود. آبیاری در سه مرحله شامل بلافاصله پس از کاشت، ۱۴ روز پس از اولین آبیاری و در زمان گلدهی به روش نشتی و کنترل علف‌های هرز در سه نوبت به‌صورت وجین دستی در اواسط اسفندماه، اواسط فروردین و اردیبهشت انجام شد. مهار کرم پیله‌خوار نخود (*Heliothis viriplaca* Hufn) در مرحله گلدهی با استفاده از حشره‌کش ایندوکساکارب (آوانت EC 15%®) با مصرف ۲۰۰ میلی‌لیتر در هکتار و یک هفته پس‌ازآن با کارباریل (سوین85% WP ®) با مصرف سه کیلوگرم در هکتار انجام شد. به‌منظور تعیین درصد بقا (SU%)، ۳۰ روز پس از سبز شدن (S0) و بلافاصله پس از پایان زمستان در دهه آخر اسفندماه (S1)، تعداد بوته‌های زنده هر ژنوتیپ شمارش و از طریق رابطه (۱) محاسبه شد (Nabati, Nezami, Boroumand Rezazadeh, Azari, & Mohammadi, 2020). در طول دوره رشد آمار هواشناسی از ایستگاه هواشناسی مزرعه تحقیقاتی دانشگاه فردوسی مشهد دریافت و حداقل و حداکثر دما در این دوره ثبت شد (شکل ۱).

$$SU\% = \frac{S1}{S0} \times 100 \qquad (۱)$$



شکل ۱- دماهای حداقل و حداکثر روزانه طی دوره آزمایش در مشهد طی سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶

Figure 1- Daily minimum and maximum temperature during chickpea growing season in 2017-2018

پس از فصل سرما در دهه اول اردیبهشت‌ماه در مرحله گلدهی یک بار از جوان‌ترین برگ کاملا توسعه‌یافته شاخص‌های تبادلات گازی شامل فتوسنتز، تبخیر و تعرق و دی‌اکسیدکربن اتاقک زیر روزنه با استفاده از دستگاه IRGA (LCA4, UK) از ساعت ۸ تا ۱۰ صبح (Olcer, Lloyd, & Raines, 2001)، هدایت و مقاومت روزنه‌ای با استفاده از دستگاه پرومتر (SC-1, USA)، فعالیت فتوسیستم II با اندازه‌گیری عوامل کلروفیل فلورسانس توسط دستگاه فلورومتر (OS1-FL, Opti-Sciences, USA) از ساعت ۱۱ تا ۱۲ ظهر (Murchie & Lawson, 2013) مورد ارزیابی قرار گرفتند. کارایی مصرف آب فتوسنتزی از طریق تقسیم مقدار فتوسنتز خالص بر تعرق محاسبه شد (Ahmadi & Siosemardeh, 2005). تراکم روزنه در سطح و در زیر برگ با استفاده از برق ناخن با جداسازی یک لایه از اپیدرم رویی و یک لایه از اپیدرم پشتی و قرارگیری روی لام بررسی شد (Sun, Yan, Cui, & Liu, 2014). تصویربرداری با استفاده از دوربین Nikon (مدل ds-fi-3) نصب‌شده بر میکروسکوپ (Nikon, Niu, Japan) از طریق نرم‌افزار Nis-Elements-AR, Version 4.60 ثبت شد و با استفاده از نرم‌افزار پردازشگر تصویر JMicroVision تراکم روزنه‌ها در سطح ۰/۰۱ میکرومتر مربع شمارش شدند.

ویژگی‌های ریخت‌شناسی جوان‌ترین برگ کاملاً توسعه‌یافته شامل طول و عرض آن و همچنین تعداد شاخه فرعی، ارتفاع اولین غلاف و ارتفاع بوته اندازه‌گیری شدند. محتوای نسبی آب برگ با روش اسمارت و بینگهام (Smart & Bingham, 1974) و پتانسیل اسمزی توسط دستگاه اسمومتر (OM802-D; Vogel, Germany) و فرمول ونت هوف (Voet, Voet, & Pratt, 2001) به همراه ویژگی‌های بیوشیمیایی شامل غلظت رنگ‌دانه‌های فتوسنتزی (Dere, Gines, & Sivaci, 1998)، کربوهیدرات‌های محلول (DuBois, Gilles, Hamilton, Rebers, & Smith, 1956) و نشاسته (Bradford, 1976) در جوان‌ترین برگ کاملاً توسعه‌یافته اندازه‌گیری شدند. در انتهای فصل زراعی عملکرد و اجزای عملکرد بوته‌ها با حذف حاشیه‌ها در یک مترمربع مورد ارزیابی قرار گرفتند.

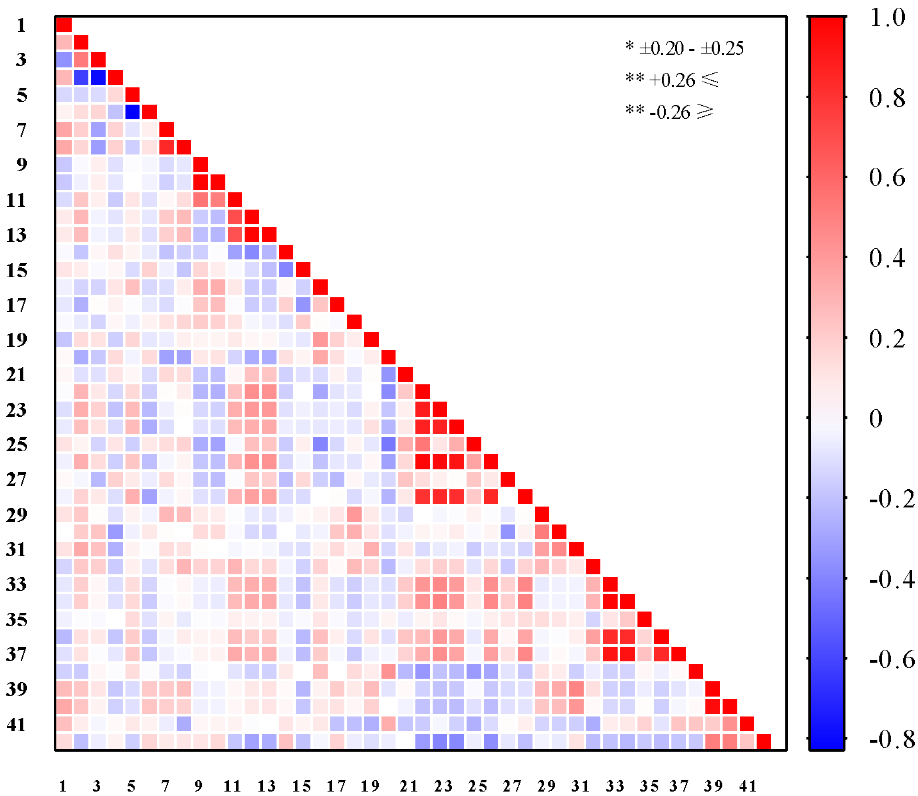
نرمال نمودن داده‌ها (با آزمون شاپیرو–ویلک) و یکنواختی

واریانس‌ها از طریق نرم‌افزار SPSS 27 انجام شد. برای تجزیه خوشه‌ای (با روش Ward بر اساس فاصله اقلیدسی)، تجزیه به مؤلفه‌های اصلی و ترسیم نمودارهای دو بعدی از نرم‌افزارهای SPSS 27 و STATISTICA 8 استفاده شد. درنهایت برای بررسی اختلاف بین گروه‌ها در صفات مختلف، مقایسه میانگین آن‌ها برای صفات از طریق آزمون چند دامنه‌ای دانکن ($P\leq0.05$) انجام شد.

نتایج و بحث

ضرایب همبستگی

درصد بقای زمستانه با محتوای کلروفیل a، کلروفیل b، کاروتنوئیدها، کل رنگ‌دانه‌های فتوسنتزی و Fv′/Fm′ همبستگی منفی و معنی‌دار و با عملکرد دانه و زیست‌توده همبستگی مثبت و معنی‌دار داشت (شکل ۲). بالاترین همبستگی مثبت و معنی‌دار (**۰/۹۶) نیز در رابطه بین عملکرد دانه با عملکرد بیولوژیک مشاهده شد.



شکل ۲- ماتریس ضرایب همبستگی پیرسون بین صفات مورفوفیزیولوژیک، بیوشیمیایی، عملکرد و اجزای عملکرد ژنوتیپ‌های نخود تیپ دسی

۱- فتوسنتز، ۲- تعرق، ۳- CO_2 اتاقک زیر روزنه، ۴- کارایی مصرف آب، ۵- هدایت روزنه‌ای، ۶- مقاومت روزنه‌ای، ۷- تعداد روزنه سطح برگ، ۸- تعداد روزنه پشت برگ، ۹- سطح ثابت فلورسانس، ۱۰- حداقل فلورسانس، ۱۱- حداکثر فلورسانس، ۱۲- کارایی فتوسیستم II، 13- کارایی عملیاتی فتوسیستم II، 14- فرود فتوشیمیایی، ۱۵- تخمین باز بودن مراکز فتوسیستم II، 16- طول برگ، ۱۷- عرض برگ، ۱۸- تعداد شاخه در گلدهی، ۱۹- طول شاخه اصلی در گلدهی، ۲۰- محتوای نسبی آب برگ، ۲۱- پتانسیل اسمزی، ۲۲- کلروفیل a، ۲۳- کلروفیل b، ۲۴- کاروتنوئیدها، ۲۵- نسبت کلروفیل a/b، ۲۶- کل رنگ‌دانه‌ها، ۲۷- کربوهیدرات‌های محلول، ۲۸- نشاسته، ۲۹- ارتفاع اولین غلاف، ۳۰- ارتفاع بوته، ۳۱- طول بوته، ۳۲- تعداد شاخه، ۳۳- تعداد غلاف در بوته، ۳۴- تعداد غلاف پر، ۳۵- درصد غلاف بارور، ۳۶- زیست‌توده در بوته، ۳۷- وزن دانه در بوته، ۳۸- وزن صد دانه، ۳۹- عملکرد بیولوژیک، ۴۰- عملکرد دانه، ۴۱- شاخص برداشت و ۴۲- بقا

Figure 2- Pearson correlation coefficient matrix between morphophysiological traits, biochemical traits, yield, and yield components of desi-type chickpea genotypes

1. Photosynthetic rate, 2. Transpiration rate, 3. CO_2 sub stomatal, 4. WUE, 5. Stomatal conductance, 6. Stomatal resistance, 7. Stomatal adaxial, 8. No. Stomatal abaxial, 9. Ft', 10. F0', 11. Fm', 12. Fv'/Fm', 13. Fq'/Fm', 14. Fq'/Fv', 15. qL, 16. Leaf length, 17. Leaf width, 18. Branch No in flowering, 19. Branch length in flowering, 20. RWC %, 21. Osmotic potential, 22. Cha, 23. Chb, 24. Carotenoids, 25. Cha/Chb, 26. Total pigment, 27. Soluble carbohydrates, 28. Starch, 29. Lowest pod height, 30. Plant height, 31. Plant length, 32. Branch No. in maturity, 33. Pod No. Plant, 34. Pod fully No., 35. Filled pod percentage, 36. Biomass plant, 37. Grain plant, 38. 100-grain weight, 39. Biological yield, 40. Grain yield, 41. Harvest index, 42. Survival

احتمالاً سازوکار بقای زمستانه در ژرم‌پلاسم نخود به نحوی بوده است که تولید محتوای رنگ‌دانه‌های فتوسنتزی در طول این فصل کمتر باشد. به‌عبارت‌دیگر، انرژی کمتری برای تولید گیرنده‌های نوری گیاه اختصاص یافته است. برخلاف نتایج آزمایش حاضر، مطالعات نشان دادند که بین بقای گیاهان و Fv′/Fm′ در باقلا (*Vicia faba* L.) و عدس (*Lens culinaris* Medik.) ارتباط همسویی برقرار است (Nabati, Nezami, Hasanfard, & Haghighat Sheshvan, 2018; Nabati, Nezami, Mirmiran, Hasanfard, & Ahmadi Lahijani, 2022). احتمالاً گونه گیاهی، شدت و مدت تنش و نیز ظرفیت خوسرمایی بوته‌ها از عوامل مهم در تفاوت یافته‌های آزمایش است. از طرفی ارتباط همسو و معنی‌دار درصد بقا با عملکرد دانه و زیست‌توده نشان می‌دهد که در صورت زمستان گذرانی موفق، ژرم‌پلاسم موردبررسی از پتانسیل مناسبی در تخصیص فراورده‌های فتوسنتزی به مخزن (تولید دانه یا افزایش وزن دانه) و اندام‌های رویشی برخوردار است. به‌عبارت‌دیگر، پس از زمستان گذرانی موفق توازن ارسال فراورده‌های فتوسنتزی به منبع و مخزن به‌طور مطلوبی برقرار شده است.

تجزیه به عامل‌ها

تجزیه به عامل‌ها بر اساس صفات موردبررسی انجام شد و از طریق مقادیر ویژه (Eigenvalue>1) ۱۲ عامل که ۸۸/۴ درصد از تغییرات را توجیه کردند، انتخاب شدند (جدول ۱). بر همین اساس عامل اول با ۲۲/۸ درصد بیش‌ترین سهم از توجیه تغییرات را به خود اختصاص داد. در عامل اول، مهم‌ترین صفات دارای بار مثبت عبارت بودند از Fv′/Fm′، محتوای کل رنگ‌دانه‌های فتوسنتزی، نشاسته، تعداد غلاف پر (بارور) و تعداد دانه و تنها صفت مهم دارای بار منفی درصد بقا بود. عامل دوم نیز ۱۲/۱ درصد از تغییرات داده‌ها را توجیه کرد. بر همین اساس هدایت روزنه‌ای، طول برگ، RWC و وزن صد دانه دارای بار مثبت و فتوسنتز، تعداد روزنه سطح پشتی برگ و کلروفیل b/a دارای بار منفی بودند. بیش‌ترین ضریب در تجزیه به عامل‌ها برای عملکرد دانه و شاخص برداشت در عامل پنجم با بار منفی مشاهده شد.

در عامل اول رنگ‌دانه‌های فتوسنتزی شامل کلروفیل a، کلروفیل b، کاروتنوئیدها و کل رنگ‌دانه‌ها (به‌ترتیب با ضرایب ۰/۸۷، ۰/۹۰، ۰/۹۰ و ۰/۹۱) و درصد بقا (با ضریب ۰/۵۲−) ضرایب بالا اما دارای بار متفاوتی نسبت به همدیگر بودند و این نتیجه مؤید نتایج همبستگی آن‌ها است. در عامل اول ضرایب رنگ‌دانه‌های فتوسنتزی بالا بودند؛ بنابراین این عامل را می‌توان عامل رنگ‌دانه‌های فتوسنتزی نامید. در هر پنج عامل اول، ضرایب درصد بقا و عملکرد دانه (ازنظر بار) همسو با یکدیگر بودند که این موضوع با نتایج همبستگی دو صفت یادشده یکسان بود. بیش‌ترین ضرایب در عامل پنج به عملکرد دانه (۰/۶۱−) و شاخص برداشت (۰/۸۰−) متعلق بود که این عامل را نیز می‌توان به نام عملکرد و شاخص برداشت نام‌گذاری کرد. بیش‌ترین تغییرات واریانس داده‌ها توسط عوامل اول و دوم توجیه شدند و این دو عامل برای شناسایی ژنوتیپ‌های برتر در دستگاه مختصات استفاده شدند (شکل ۳). بر همین اساس، مطابق قسمت مشخص شده در شکل ۳، هشت ژنوتیپ به همراه رقم سارال در محدوده مثبت عوامل اول و دوم قرار گرفتند (شکل ۳).

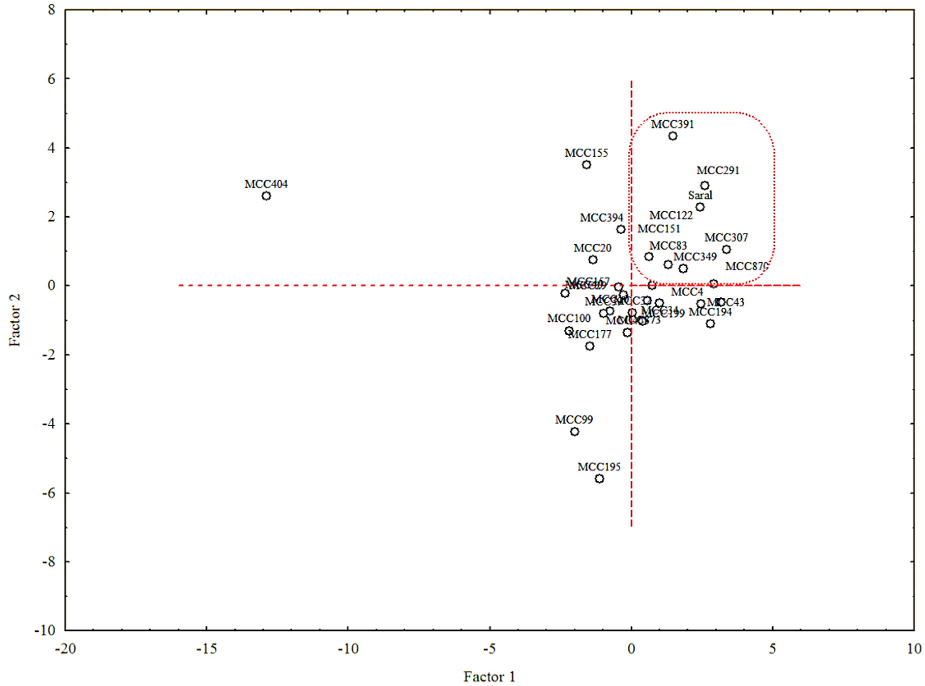
تجزیه خوشه‌ای

نتایج حاصل از تجزیه خوشه‌ای بر اساس صفات موردمطالعه از طریق فاصله اقلیدسی (روش Ward)، ژرم‌پلاسم نخود را به پنج گروه متمایز تقسیم کرد (شکل ۴). گروه یک با ۹ ژنوتیپ بیش‌ترین و گروه چهار با چهار ژنوتیپ کمترین تعداد ژنوتیپ را به خود اختصاص دادند. به‌منظور بررسی سهم هر یک از صفات موردمطالعه برای هر گروه، انحراف از میانگین برای صفات محاسبه شد (جدول ۲). بر این اساس، میانگین درصد بقای گروه‌های یک و سه و میانگین عملکرد دانه گروه‌های یک، سه و پنج بیشتر از میانگین کل بود.

جدول ۱- تجزیه به عامل‌ها برای ٤٢ صفت در ژنوتیپ‌های نخود تیپ دسی در مشهد در سال ۹۷-۱۳۹٦

Table 1- Factor analysis for 42 traits in desi-type chickpea genotypes at Mashhad in 2017-18

Traits صفات	Factor 1 عامل ۱	Factor 2 عامل ۲	Factor 3 عامل ۳	Factor 4 عامل ٤	Factor 5 عامل ٥	Factor 6 عامل ٦	Factor 7 عامل ۷	Factor 8 عامل ۸	Factor 9 عامل ۹	Factor 10 عامل ۱۰	Factor 11 عامل ۱۱	Factor 12 عامل ۱۲
Photosynthetic rate فتوسنتز	-0.142	-0.475	-0.155	-0.265	-0.322	-0.293	0.299	-0.154	-0.135	-0.077	-0.050	0.454
Transpiration rate تعرق	0.336	-0.435	0.307	0.501	-0.193	-0.274	0.016	0.103	-0.225	-0.154	-0.156	0.209
CO_2 substomatal CO_2اتاقک زیر روزنه	0.113	-0.012	0.399	0.793	-0.059	0.233	-0.070	0.125	-0.057	-0.077	-0.022	-0.114
WUE کارایی مصرف آب	-0.174	0.162	-0.503	-0.747	0.076	-0.081	0.074	-0.151	0.014	0.053	0.064	0.032
Stomatal conductance هدایت روزنه‌ای	0.413	0.444	0.131	-0.378	-0.053	0.134	-0.198	-0.112	0.341	-0.155	-0.405	0.111
Stomatal resistance مقاومت روزنه‌ای	-0.364	-0.340	-0.032	0.399	-0.185	-0.166	0.057	0.103	-0.277	0.245	0.385	-0.262
No. Stomatal adaxial تعداد روزنه سطح برگ	0.026	-0.557	0.055	-0.484	0.058	-0.311	0.058	-0.007	-0.277	-0.264	0.109	-0.067
No. Stomatal abaxial تعداد روزنه پشت برگ	0.114	-0.534	0.187	-0.556	0.163	-0.222	0.072	-0.019	-0.439	-0.124	0.135	0.014
Ft' سطح ثابت فلورسانس	-0.099	0.508	0.447	-0.001	0.341	-0.312	0.387	0.338	0.142	0.016	-0.024	0.080
F0' حداقل فلورسانس	-0.133	0.541	0.463	-0.020	0.331	-0.248	0.419	0.295	0.113	0.019	-0.030	0.040
Fm' حداکثر فلورسانس	0.651	0.110	0.347	-0.069	0.114	-0.375	0.104	0.288	0.267	0.277	0.097	-0.005
Fv'/Fm' II کارایی فتوسیستم	0.716	-0.407	-0.027	-0.121	-0.114	-0.226	-0.206	0.152	0.226	0.267	0.142	0.011
Fq'/Fm'; II کارایی عملیاتی فتوسیستم	0.724	-0.397	-0.021	-0.142	-0.137	-0.169	-0.180	0.109	0.210	0.288	0.141	-0.038
Fq'/Fv' فرود فتوشیمیایی	-0.332	0.305	0.008	-0.040	-0.092	0.485	0.304	-0.381	-0.233	-0.020	-0.103	-0.350
qL II تخمین باز بودن مراکز فتوسیستم	-0.142	0.012	-0.512	0.458	0.090	-0.499	-0.011	-0.051	0.049	-0.197	-0.234	0.126
Leaf length طول برگ	-0.013	0.575	0.412	-0.392	-0.177	-0.132	-0.204	0.118	-0.218	-0.150	-0.046	0.154
Leaf width عرض برگ	-0.166	0.162	0.435	-0.358	0.065	0.465	0.013	0.009	0.198	0.078	0.370	0.179
Branch No in flowering تعداد شاخه در گلدهی	-0.084	-0.134	0.261	-0.114	0.426	-0.348	-0.020	-0.442	0.098	0.267	-0.301	-0.231
Branch length in flowering طول شاخه اصلی در گلدهی	0.152	-0.025	0.432	-0.130	-0.070	0.214	-0.631	0.139	-0.199	0.050	-0.247	0.097
RWC محتوای نسبی آب برگ	-0.379	0.537	-0.123	-0.031	-0.375	-0.139	-0.215	-0.281	-0.097	0.256	0.189	0.145
Osmotic potential پتانسیل اسمزی	0.238	-0.407	-0.190	-0.340	0.163	0.426	-0.122	0.271	0.153	-0.149	0.058	-0.165
Cha a کلروفیل	0.874	-0.224	-0.172	0.111	0.055	0.204	0.147	-0.189	0.039	0.009	-0.022	0.086
Chb b کلروفیل	0.904	0.060	-0.007	0.130	-0.084	0.137	0.087	-0.195	-0.064	-0.027	0.020	0.102
Carotenoids کاروتنوئیدها	0.899	-0.007	-0.021	0.101	0.016	0.168	0.115	-0.171	-0.041	0.054	-0.029	0.159
Cha/Chb a/b نسبت کلروفیل	0.335	-0.579	-0.426	-0.017	0.246	0.142	0.103	-0.014	0.194	0.043	-0.064	-0.126
Total pigment کل رنگدانه‌ها	0.914	-0.096	-0.096	0.119	0.000	0.181	0.125	-0.194	-0.009	0.002	-0.008	0.105
Soluble carbohydrates کربوهیدرات‌های محلول	0.170	-0.141	-0.493	-0.156	-0.035	-0.275	-0.206	0.267	0.119	-0.041	-0.345	-0.326
Starch نشاسته	0.858	0.072	0.033	-0.020	-0.145	0.158	0.257	-0.195	0.115	-0.031	-0.003	0.135
Lowest pod height ارتفاع اولین غلاف	-0.038	-0.303	0.509	-0.082	0.183	-0.283	0.050	-0.495	0.111	-0.287	0.009	-0.176
Plant height ارتفاع بوته	-0.026	-0.247	0.670	0.176	0.118	-0.005	0.077	-0.386	0.328	-0.103	0.190	-0.031
Plant length in maturity طول بوته در رسیدگی	-0.100	-0.429	0.633	0.061	-0.148	0.137	-0.196	0.162	0.063	-0.282	-0.079	0.036
Branch No. in maturity تعداد شاخه در رسیدگی	0.289	-0.002	0.586	0.019	0.410	-0.160	-0.044	-0.197	-0.278	0.245	-0.093	-0.030
Pod No. Plant تعداد غلاف در بوته	0.847	0.251	-0.017	-0.050	-0.125	-0.097	0.147	0.051	-0.248	0.028	-0.064	-0.204
Pod fully No. تعداد غلاف پر	0.860	0.279	-0.013	-0.049	-0.164	-0.113	0.116	0.031	-0.188	-0.035	-0.018	-0.197
Filled pod درصد غلاف بارور	0.158	0.202	-0.003	0.023	-0.290	-0.277	-0.075	-0.016	0.364	-0.566	0.337	-0.212
Biomass plant زیست‌توده در بوته	0.712	0.414	0.268	-0.130	0.018	0.068	-0.137	0.141	-0.317	-0.111	0.065	-0.153
Grain plant^{-1} وزن دانه در بوته	0.741	0.424	0.111	-0.161	-0.316	-0.117	0.082	0.015	-0.051	-0.050	0.075	-0.236
100-grain weight وزن صد دانه	-0.260	0.342	0.096	0.020	-0.175	-0.217	-0.435	-0.407	0.095	0.114	0.035	-0.119
Biological yield زیست‌توده	-0.216	-0.511	0.583	-0.183	-0.420	0.097	0.051	0.012	0.096	0.166	-0.150	-0.065
Grain yield عملکرد دانه	-0.230	-0.417	0.503	-0.172	-0.609	-0.020	0.114	0.024	0.106	0.156	-0.159	-0.073
Harvest index شاخص برداشت	-0.120	0.227	-0.104	0.022	-0.796	-0.224	0.295	-0.064	0.132	0.069	-0.107	-0.044
Survival بقا	-0.520	-0.157	0.132	-0.209	-0.182	0.326	0.514	0.220	0.009	0.047	-0.234	-0.143
Eigenvalue مقادیر ویژه	9.559	5.08	4.68	3.31	2.70	2.58	2.00	1.90	1.61	1.32	1.24	1.14
Cumulative % درصد سهم تجمعی	22.8	34.9	46.0	53.9	60.3	66.4	71.2	75.7	79.6	82.7	85.7	88.4

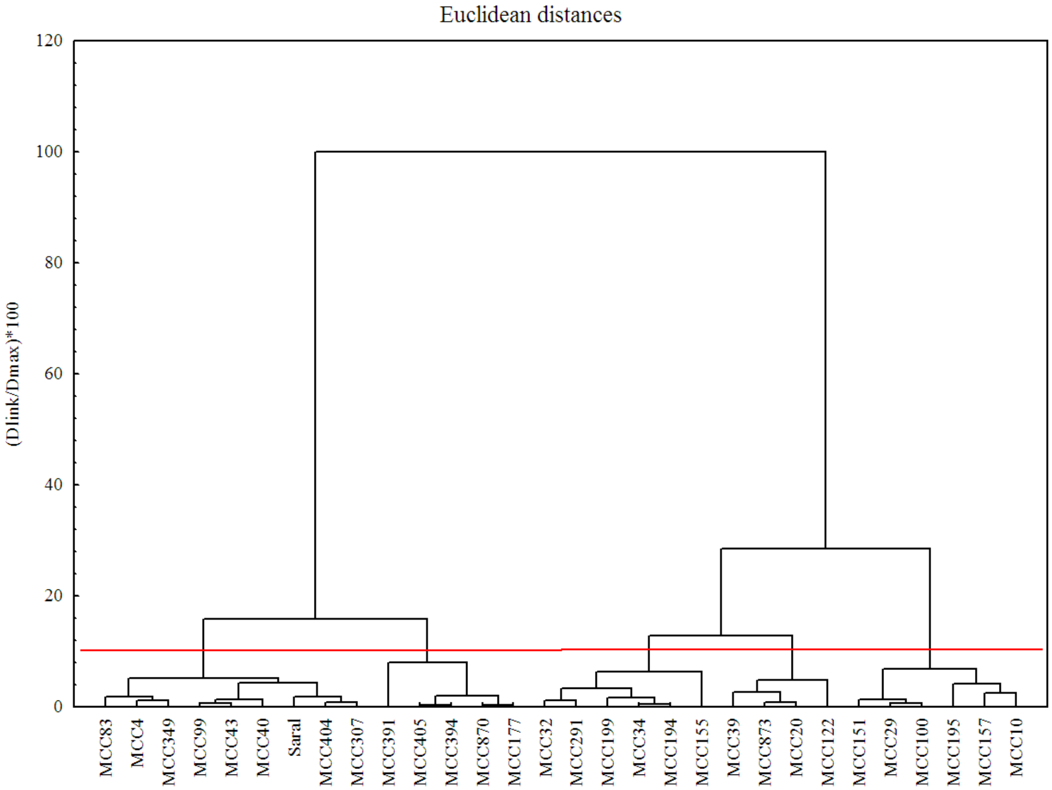


شکل ۳- پراکنش ژنوتیپ‌های نخود تیپ دسی بر اساس عوامل اول و دوم در مشهد در سال ۹۷-۱۳۹۶
Figure 3- Distribution of desi-type chickpea genotypes based on the first and second factors at Mashhad in 2017-18

مطابق جدول ۲، گروه‌های یک تا پـنج بـه‌ترتیب در ۵۱، ۳۹، ۵۱، ۳۷ و ۵۴ درصد از صفات میانگین بیشتری در مقایسه با میانگین کـل داشتند. رقم سارال به همراه هشت ژنوتیپ در گروه یک قرار گرفـت. فریـدا ترائـوره و همکـاران (Farida Traoré *et al.*, 2022) نیـز از تجزیه خوشه‌ای برای گروه‌بندی ۲۸۲ لاین نخود تیپ کابلی بر اساس صفات زراعـی- فیزیولوژیـک و صـفات کیفـی اسـتفاده کردنـد. ایـن محققان از این طریق ژنوتیپ‌های امیـدبخش را بـه‌منظور آزادسـازی ارقام اصلاح‌شده از نظر عملکرد و خصوصیات کیفی معرفی کردند.

بقای زمستانه و عملکرد دانه بالا در کنار هم می‌تواننـد زمینه‌سـاز گزینش مناسب ژنوتیپ‌های نخود برای کشت پاییزه محسوب شـوند. در این آزمایش، ژنوتیپ‌های گروه‌های یک و سه که میانگین درصـد بقا و عملکرد دانه آن‌ها بیش از میانگین کل است، می‌توانند بـه‌منظور به‌گزینی در برنامه‌های اصـلاحی مـورد بهـره قـرار گیرنـد. همچنـین ازآن‌جایی‌که کشت مکانیزه در سال‌های اخیر مدنظر تولیدکنندگان این محصول بوده است، گزینش ژنوتیپ‌هایی با ارتفاع بوته و ارتفاع اولـین غلاف بیشتر می‌تواند زمینه‌ساز افزایش سطح زیر کشت آن‌ها باشد. به همین منظور ژنوتیپ‌های گروه‌های سه و پنج بـا میـانگین بیشـتر در صفات یادشده در مقایسه با میانگین کل می‌توانند در مطالعات گزینش به‌منظور برداشت مکانیزه مناسب باشند. در آزمایشی مشـابه، مقایسـه میانگین خوشه‌بندی ژنوتیپ‌های عدس برای بـه‌گزینی آن‌هـا از نظـر عملکـرد و اجـزای عملکـرد مـورد اسـتفاده قـرار گرفـت (Nabati, Nezami, Hasanfard, Zare Mehrjerdi, & Rastgoo, 2021). در این گونه آزمایش‌ها ژنوتیپ‌هـا در گروه‌هـای متمـایز تقسـیم‌بندی می‌شوند که پژوهشگران مطابق با اهداف به‌گزینی خود، ژنوتیپ‌هـای امیدبخش را برای آزمایش‌های تکمیلـی شناسـایی می‌کننـد. تجزیـه واریانس گروه‌ها نشان داد که تفاوت معنـی‌داری بـین گروه‌هـا ازنظـر مقادیر مقاومت روزنه‌ای، تراکم روزنه در سطح و پشت برگ، کلروفیل b/a و ارتفاع اولین غلاف وجود دارد (جدول ۳). به‌عبارت‌دیگر، مقـادیر واریانس بین گروه‌ها در هریک از صفات یادشـده بـه‌ترتیب ۱/۷، ۵۷، ۶۲، ۱/۸ و ۱/۷ برابر بیشتر از واریانس درون گروه‌ها است. معنـی‌داری واریانس بین گروهی در صفات یادشده، نشـان‌دهنده یکسـان نبـودن میانگین گروه‌ها بود و همین مسأله اهمیـت تجزیـه خوشـه‌ای بـرای تعیین ژنوتیپ‌های برتر ازنظر صفات یادشده را تاییـد می‌کنـد. مقـدار بالای واریانس بین گروه‌ها بـرای هـر یـک از صـفات در مقایسـه بـا واریانس درون گروه‌ها نشان‌دهنده تبیین مناسب اثر صفت یادشـده در آزمایش و اثر خطای کمتر است. تجزیه واریانس چند متغیره بر پایـه طـرح کاملاً تصادفی نامتعادل به‌منظور تایید تفاوت بـین گروه‌هـا نیـز نشان داد که آزمون ویلکس لامبـدا[1] در تـابع اول بـا مقـدار کمتـر از ۰/۰۰۱ معنی‌دار بود (جدول ۴).

1- Wilks' lambda



شکل ٤- گروه‌بندی خوشه‌ای ژنوتیپ‌های نخود تیپ دسی بر اساس صفات موردمطالعه

Figure 4- Cluster grouping of desi-type chickpea genotypes based on studied traits

برای بررسی صحت گروه‌بندی حاصل از تجزیه خوشه‌ای از تابع تشخیص استفاده شد (جدول ۵). بر اساس نتایج آن، ژرم‌پلاسم موردبررسی به‌طور صحیح گروه‌بندی شده است. موفقیت تابع تشخیص در این آزمایش ۱۰۰ درصد بود که همین مسئله نشان‌دهنده قرارگیری صد درصدی ژنوتیپ‌ها در گروه خود است.

تجزیه تابع تشخیص کانونیکی نشان داد که هر چهار متغیر کانونیک مقدار ویژه بالاتر از یک داشتند (جدول ۶). در این میان، متغیر کانونیک اول (مقدار ویژه ۱۱۸)، ۹۱/۲ درصد از واریانس موجود را توجیه می‌کند. همبستگی کانونیکی هر چهار متغیر معنی‌دار بود که این نتایج نشان‌دهنده توجیه مناسب تفاوت بین ژنوتیپ‌ها توسط متغیرهای کانونیک است. در تابع اول تشخیص کانونیکی تعداد روزنه سطح پشتی برگ و در تابع دوم به‌ترتیب ارتفاع بوته، طول و عرض برگ، درصد بقا، Fq'/Fm'، Fv′/Fm′ و فتوسنتز از ضرایب استانداردشده کانونیکی بیشتری برخوردار بودند (جدول ۶). درصد بقا، ارتفاع بوته و طول برگ در تابع دوم و عملکرد دانه در تابع چهارم دارای ضریب استانداردشده کانونیکی بیشتری بودند. ازاین‌رو، صفات یادشده با ضرایب بالا بیش‌ترین تأثیر را در تنوع ژنوتیپ‌های مورد بررسی داشتند. به‌عبارت‌دیگر، درصد بقا ارتفاع بوته و طول برگ و عملکرد دانه در توابع خود سهم بیش‌تری از تنوع بین ژنوتیپ‌ها را توجیه کردند. به این ترتیب که ضرایب تشخیص استاندارد، اثرات خالص هر صفت را در تابع تشخیص به‌خوبی نشان داد. بنابراین، نتایج این قسمت نشان داد که تجزیه تشخیص کانونیکی در شناخت تنوع ژنتیکی بین ژنوتیپ‌ها و معرفی صفاتی که توصیف مناسب‌تری از تنوع بین ژنوتیپ‌ها داشتند، مفید بود.

ژرم‌پلاسم موردبررسی بر اساس تجزیه خوشه‌ای ازنظر فاصله ژنتیکی (تفاوت ژنومی) نیز بررسی شد. بیش‌ترین فاصله ژنتیکی بین گروه‌های دو و پنج و کمترین آن بین گروه‌های سه و چهار مشاهده شد (شکل ۵). بر این اساس، ژنوتیپ‌هایی که در یک گروه قرار می‌گیرند در مقایسه با ژنوتیپ‌هایی که در گروه‌های متفاوت قرار می‌گیرند، شباهت ژنتیکی بیشتری دارند. به‌عبارت‌دیگر، تنوع ژنتیکی بین گروهی در مقایسه با تنوع ژنتیکی درون گروهی بیشتر است.

جدول ۲- میانگین گروه‌های حاصل از تجزیه خوشه‌ای و میانگین کل برای صفات موردمطالعه در ژنوتیپ‌های نخود تیپ دسی

Table 2- Mean of the groups in cluster analysis and the total for studied traits in desi type chickpea genotypes

Traits صفات	Group1	Group2	Group3	Group4	Group5	Total
	Number of genotypes					
	9	5	6	4	6	30
Photosynthetic rate فتوسنتز	10.4±4.06	7.84±4.18	12.3±5.24	9.72±3.14	12.4±5.04	10.7±4.45
Transpiration rate تعرق	2.23±0.930	1.53±0.660	2.30±0.940	2.33±1.09	2.29±1.36	2.15±0.986
CO_2 substomatal اتاقک زیر روزنه CO_2	384±21.3	377±37.6	363±40.7	370±38.7	356±48.7	371±35.9
WUE کارایی مصرف آب	5.24±2.53	7.40±6.72	6.45±4.05	6.09±5.56	8.16±6.19	6.54±4.68
Stomatal conductance هدایت روزنه‌ای	17.7±3.03	17.2±2.43	15.9±3.34	18.7±1.27	16.7±1.26	17.2±2.56
Stomatal resistance مقاومت روزنه‌ای	59.5±11.0	59.6±9.36	69.9±14.6	55.3±5.03	57.9±3.82	60.7±10.5
No. Stomatal adaxial تعداد روزنه سطح برگ	23739±1514	19913±2045	30313±2141	31017±2471	36380±2505	27915±6124
No. Stomatal abaxial تعداد روزنه پشت برگ	27192±1666	22556±2755	35456±1994	29505±1628	39746±2365	30891±6384
Ft' سطح ثابت فلورسانس	324±45	330±47	334±40	313±12.0	317±25.1	324±36.09
F0' حداقل فلورسانس	327±45.0	336±44.9	337±41.7	31.5±11.4	319±25.22	327±36.4
Fm' حداکثر فلورسانس	853±152	862±140	851±74.5	858±17.2	887±98.5	861±109
Fv'/Fm' II کارایی فتوسیستم	0.602±0.059	0.600±0.077	0.602±0.051	0.632±0.014	0.637±0.020	0.613±0.051
Fq'/Fm' II کارایی عملیاتی فتوسیستم	0.606±0.058	0.609±0.064	0.606±0.050	0.634±0.014	0.639±0.020	0.617±0.047
Fq'/Fv' فرود فتوشیمیایی	1.012±0.006	1.019±0.034	1.007±0.005	1.003±0.002	1.005±0.003	1.008±0.015
qL II تخمین باز بودن مراکز فتوسیستم	0.998±0.003	0.999±0.003	0.997±0.002	0.997±0.001	0.997±0.003	0.998±0.003
Leaf length طول برگ	6.61±0.727	6.34±0.50	6.94±0.57	6.41±0.528	6.34±0.648	6.55±0.623
Leaf width عرض برگ	2.96±0.350	2.73±0.174	2.91±0.167	2.73±0.233	2.82±0.400	2.85±0.291
Branch No. in flowering تعداد شاخه در گلدهی	3.19±2.06	3.20±0.869	3.44±0.886	2.17±0.694	3.78±1.71	3.22±1.48
Branch length in flowering طول شاخه اصلی در گلدهی	44.8±8.93	38.0±7.02	45.2±6.44	42.4±5.59	40.2±3.83	42.5±7.03
RWC محتوای نسبی آب برگ	63.1±5.83	62.9±4.67	62.4±4.72	60.7±2.76	57.2±4.94	61.4±5.15
Osmotic potential پتانسیل اسمزی	1.90±0.236	1.831±0.205	1.89±0.176	2.06±0.323	2.07±0.175	1.94±0.226
Cha کلروفیل a	0.399±0.303	0.266±0.092	0.236±0.090	0.321±0.082	0.383±0.158	0.331±0.193
Chb کلروفیل b	0.309±0.230	0.194±0.027	0.206±0.038	0.280±0.085	0.245±0.064	0.252±0.136
Carotenoids کاروتنوئیدها	0.133±0.083	0.099±0.025	0.090±0.024	0.094±0.026	0.118±0.029	0.111±0.051
Cha/Chb نسبت کلروفیل a/b	1.25±0.320	1.36±0.335	1.1±0.244	1.17±0.229	1.54±0.284	1.29±0.307
Total pigment کل رنگ‌دانه‌ها	0.840±0.606	0.560±0.133	0.533±0.148	0.695±0.175	0.746±0.244	0.694±0.370
Soluble carbohydrates کربوهیدرات‌های محلول	1.34±0.711	1.31±1.176	1.41±0.857	2.24±0.459	1.45±0.495	1.49±0.782
Starch نشاسته	109±96.6	61.9±16.3	66.3±11.5	75.7±8.4	87.6±24.5	84.0±55.7
Lowest pod height ارتفاع اولین غلاف	12.7±4.81	12.5±2.43	15.5±4.93	10.4±2.30	16.1±3.52	13.6±4.23
Plant height ارتفاع بوته	40.7±7.86	42.5±11.2	43.8±12.9	36.3±4.38	42.4±10.7	41.4±9.51
Plant length in maturity طول بوته در رسیدگی	47.9±8.66	46.7±7.28	55.2±8.64	46.6±11.7	49.8±6.76	49.4±8.53
Pod No. Plant تعداد غلاف در بوته	152±116	170±32.0	173±59.6	170±36.9	165±56.2	164±72.3
Pod fully No. تعداد غلاف پر	131±106	147±29.4	144±46.1	147±40.9	139±41.0	140±63.9
Filled pod درصد غلاف بارور	84.1±7.26	86.5±3.21	83.1±5.33	85.0±8.13	85.3±5.19	84.7±5.79
Biomass plant زیست‌توده در بوته	80.6±51.9	81.3±18.5	87.5±32.9	85.8±27.4	91.1±28.1	84.9±34.8
100-grain weight وزن صد دانه	18.2±7.53	17.8±3.13	17.1±2.84	20.5±9.07	16.2±5.88	17.8±5.88
Biological yield زیست‌توده	594±238	426±185	671±327	456±76.6	615±183	567±231
Grain yield عملکرد دانه	251±98.4	184±81.2	294±178	213±48.9	247±90.6	242±109
Harvest index شاخص برداشت	43.0±5.81	43.2±4.47	41.7±6.19	46.5±5.03	38.9±6.15	42.4±5.75
Survival بقا	64.0±25.0	53.5±25.1	73.7±11.2	58.0±5.06	59.3±17.8	62.5±19.6
Grain plant^{-1} وزن دانه در بوته	33.0±28.2	38.3±5.98	36.8±11.5	42.1±7.41	33.8±13.7	36.0±17.2

جدول ۳- تجزیه واریانس گروه‌ها بر اساس ویژگی‌های موردمطالعه در ژنوتیپ‌های نخود دسی

Table 3- Analysis of variance of groups based on the studied characteristics of desi type chickpea genotypes

Traits صفات	Between Groups بین گروه‌ها	Within Groups داخل گروه‌ها
درجه آزادی df	4	25
Photosynthetic rate فتوسنتز	19.6	19.8
Transpiration rate تعرق	0.585	1.034
CO_2 substomatal اتاقک زیر روزنه CO_2	862	1358
WUE کارایی مصرف آب	8.91	23.9
Stomatal conductance هدایت روزنه‌ای	6.06	6.63
Stomatal resistance مقاومت روزنه‌ای	172*	101*
No. Stomatal adaxial تعداد روزنه سطح برگ	245014804**	4308558**
No. Stomatal abaxial تعداد روزنه پشت برگ	268419270**	4335025**
Ft' سطح ثابت فلورسانس	390.647	1448.203
F0' حداقل فلورسانس	486	1461
Fm' حداکثر فلورسانس	1284	13662
Fv'/Fm' II کارایی فتوسیستم	0.002	0.003
Fq'/Fm'; IIکارایی عملیاتی فتوسیستم	0.002	0.002
Fq'/Fv' فرود فتوشیمیایی	0	0
qL IIتخمین باز بودن مراکز فتوسیستم	0	0
Leaf length طول برگ	0.376	0.39
Leaf width عرض برگ	0.066	0.088
Branch No. in flowering تعداد شاخه در گلدهی	1.66	2.28
Branch length in flowering طول شاخه اصلی در گلدهی	55.7	48.4
RWC محتوای نسبی آب برگ	38.1	24.6
Osmotic potential پتانسیل اسمزی	0.063	0.049
Cha a کلروفیل	0.033	0.038
Chb b کلروفیل	0.015	0.019
Carotenoids کاروتنوئیدها	0.002	0.003
Cha/Chb a/b نسبت کلروفیل	0.149*	0.085*
Total pigment کل رنگ‌دانه‌ها	0.113	0.14
Soluble carbohydrates کربوهیدرات‌های محلول	0.662	0.604
Starch نشاسته	2598	3187
Lowest pod height ارتفاع اولین غلاف	27.8*	16.3*
Plant height ارتفاع بوته	39.6	98.6
Plant length in maturity طول بوته در رسیدگی	71.4	73.1
Pod No. Plant تعداد غلاف در بوته	512	5987
Pod fully No. تعداد غلاف پر	334	4687
Filled pod درصد غلاف بارور	8.87	37.5
Biomass plant زیست‌توده در بوته	127	1381
100-grain weight وزن صد دانه	12.3	38.1
Biological yield زیست‌توده	58382	52334
Grain yield عملکرد دانه	9342	12383
Harvest index شاخص برداشت	38.1	32.3
Survival بقا	330	392
Grain plant^{-1} وزن دانه در بوته	71.1	331

* و ** به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد و یک درصد.

* and ** are significant at 5% and 1% probability levels

جدول ٤- نتایج معنی‌داری آماره آزمون‌های ویلکس لامبدا و کای‌اسکویر

Table 4- Results of Wilks' Lambda and Chi-square tests

Test of Function(s) آزمون توابع	Wilks' Lambda ویلکس لامبدا	Chi-square کای‌اسکوئر	df درجه آزادی	Sig. سطح معنی‌داری
1	0.000	144	84	0.000
2	0.015	67.0	60	0.249
3	0.134	32.1	38	0.738
4	0.440	13.1	18	0.783

جدول ٥- نتایج صحت گروه‌بندی ژنوتیپ‌های نخود تیپ دسی با استفاده از تابع تشخیص

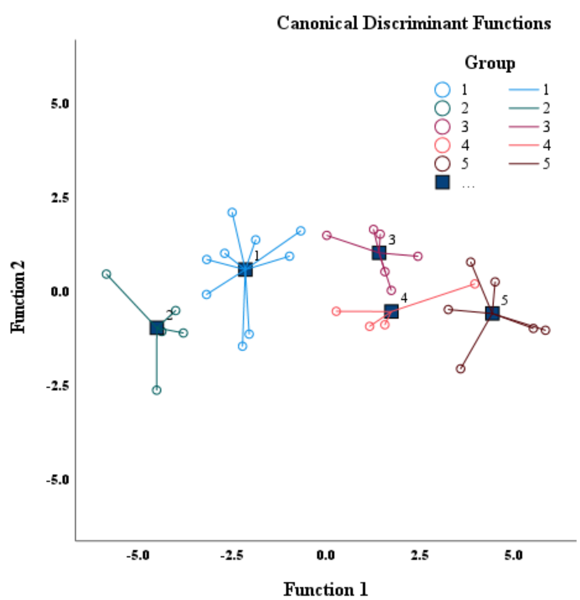
Table 5- The results of confirming the grouping of desi-type chickpea genotypes using the discriminant analysis

Group		Group Membership اعضای گروه					Total جمع کل
		1	2	3	4	5	
Total مجموع	1	9	0	0	0	0	9
	2	0	5	0	0	0	5
	3	0	0	6	0	0	6
	4	0	0	0	4	0	4
	5	0	0	0	0	6	6
Percent درصد	1	100	0	0	0	0	100
	2	0	100	0	0	0	100
	3	0	0	100	0	0	100
	4	0	0	0	100	0	100
	5	0	0	0	0	100	100

100%گروه‌ها به‌درستی گروه‌بندی شدند

100% of original grouped cases correctly classified.

هرچند که لزوماً فاصله ژنتیکی عامل کلیدی برای تعیین هتروزیس در گیاه نیست (Suri *et al*., 2022)، اما به‌طورکلی هیبریداسیون ژنوتیپ‌هایی با فاصله ژنتیکی بیشتر برای بهره‌گیری از هتروزیس یا ترکیب‌پذیری بالا مناسب است. در این آزمایش، فاصله ژنوتیپ‌های گروه یک با گروه پنج نیز بیشتر بود؛ بنابراین با توجه به این‌که ژنوتیپ‌های گروه یک، درصد بقا و عملکرد بالاتر و ژنوتیپ‌های گروه پنج، ارتفاع بوته و ارتفاع اولین غلاف بیشتری در مقایسه با میانگین کل داشتند، تلاقی ژنوتیپ‌های این دو گروه توسط اصلاح‌گران می‌تواند به آزادسازی ارقامی با پتانسیل زمستان گذرانی مناسب و عملکرد بالاتر با قابلیت برداشت مکانیزه منجر شود.



شکل ٥- گروه‌بندی ژنوتیپ‌های نخود تیپ دسی بر اساس تجزیه خوشه‌ای ازنظر فاصله ژنتیکی

Figure 5- Distribution of desi-type chickpea genotypes based on their grouping by cluster analysis in terms of genetic distance

جدول ٦- ماتریس ساختاری ضرایب استاندارد کانونیکی صفات موردبررسی به‌دست‌آمده در ژنوتیپ‌های نخود تیپ دسی

Table 6- Structure matrix of standardized canonical discriminant function coefficients studied traits obtained in desi-type chickpea genotypes

Traits صفات	Canonical varieties متغیرهای کانونیکی			
	1	2	3	4
No. Stomatal adaxial تعداد روزنه بالای برگ	-0.272*	-0.196	-0.072	0.147
Plant height ارتفاع بوته	0.102	0.273*	0.203	0.090
Leaf length طول برگ	0.169	0.266*	-0.096	0.076
Survival بقا	0.078	-0.243*	0.052	0.183
Leaf width عرض برگ	-0.003	0.119*	-0.052	-0.040
Fq'/Fm'; II کارایی عملیاتی فتوسیستم	-0.024	-0.084*	-0.038	-0.062
Fv'/Fm' II کارایی فتوسیستم	-0.022	-0.072*	-0.056	-0.057
Photosynthetic rate فتوسنتز	-0.033	0.060*	0.011	0.011
100-grain weight وزن صد دانه	-0.006	0.121	0.472*	0.000
Filled pod درصد غلاف بارور	-0.263	0.282	-0.388*	-0.137
Pod fully No. تعداد غلاف پر	0.136	0.131	-0.340*	-0.270
Plant length طول بوته در رسیدگی	0.020	0.036	-0.328*	0.144
No. Stomatal abaxial تعداد روزنه پشت برگ	-0.285	0.089	0.326*	0.031
Grain plant^{-1} وزن دانه در بوته	0.153	0.217	-0.288*	-0.199
Pod No. Plant تعداد غلاف در بوته	0.172	0.100	-0.287*	-0.253
Lowest pod height ارتفاع اولین غلاف	-0.033	0.067	0.214*	-0.073
Stomatal conductance هدایت روزنه‌ای	0.015	-0.058	-0.201*	-0.051
Fq'/Fv' فرود فتوشیمیایی	-0.011	-0.044	0.169*	-0.009
Branch No. in flowering تعداد شاخه در گلدهی	-0.012	0.052	0.151*	-0.142
Branch length in flowering طول شاخه اصلی در گلدهی	-0.005	0.120	-0.138*	0.137
Osmotic potential پتانسیل اسمزی	-0.032	-0.079	-0.117*	-0.067
Transpiration rate تعرق	-0.020	0.037	-0.111*	0.044
WUE کارایی مصرف آب	-0.010	-0.048	0.110*	-0.049
F0' حداقل فلورسانس	0.010	0.040	0.103*	0.060
CO_2 substomatal اتاقک زیر روزنه CO_2	0.025	0.033	-0.091*	-0.045
Ft' سطح ثابت فلورسانس	0.008	0.043	0.085*	0.063
qL II تخمین باز بودن مراکز فتوسیستم	0.024	-0.002	0.024*	-0.015
Biological yield زیست‌توده	0.068	0.136	-0.017	0.433*
Grain yield عملکرد دانه	0.055	0.112	-0.059	0.421*
Starch نشاسته	0.078	-0.046	-0.248	-0.375*
Chb b کلروفیل	-0.038	0.044	-0.214	-0.370*
Total pigment کل رنگ‌دانه‌ها	0.003	0.028	-0.183	-0.308*
Carotenoids کاروتنوئیدها	0.142	0.029	-0.196	-0.270*
Stomatal resistance مقاومت روزنه‌ای	-0.006	0.119	0.173	0.263*
Biomass plant زیست‌توده در بوته	0.039	0.161	-0.251	-0.262*
Cha a کلروفیل	-0.005	0.015	-0.147	-0.258*
Soluble carbohydrates کربوهیدرات‌های محلول	-0.008	-0.093	-0.163	0.173*
Harvest index شاخص برداشت	0.062	-0.045	-0.164	0.167*
RWC محتوای نسبی آب برگ	0.037	0.082	-0.023	0.150*
Cha/Chb a/b نسبت کلروفیل	-0.019	-0.035	0.063	0.135*
Fm' حداکثر فلورسانس	-0.007	-0.021	0.023	-0.064*
Eigen value ویژه مقادیر	118	7.86	2.27	1.27
Cumulative % تجمعی سهم درصد	91.2	97.3	99.0	100
Canonical correlation کانونیکی همبستگی	0.996	0.942	0.833	0.748

متغیرها بر اساس اندازه مطلق همبستگی در تابع مرتب شدند.

Variables ordered by absolute size of correlation within function.

* بزرگ‌ترین همبستگی مطلق بین هر متغیر و تابع کانونیکی (تابع تشخیص)

*Largest absolute correlation between each variable and any discriminant function.

نتیجه‌گیری

ژنوتیپ‌های گروه سه تجزیه خوشه‌ای (MCC32، MCC34، MCC155، MCC194، MCC199 و MCC291)، تمام صفات مهم و مورد اولویت برای گزینش توسط اصلاح‌گران ازجمله درصد بقای زمستانه بالا، عملکرد دانه مناسب، ارتفاع بوته و ارتفاع اولین غلاف بیشتر را دارند و می‌توانند در برنامه‌های به‌نژادی برای کشت پاییزه موردتوجه قرار گیرند. در این آزمایش فاصله ژنوتیپ‌های گروه یک با پنج بیشتر بود که با توجه به خصوصیات برتر این دو گروه می‌توانند در معرفی ارقام موردتوجه قرار گیرند. بر اساس تقسیم‌بندی گروه‌ها، می‌توان از تنوع خصوصیات ژنوتیپ‌ها در برنامه‌های به‌نژادی استفاده کرد. برای مثال گروه‌هایی که میانگین بالاتری در شاخص‌های تبادلات گازی، عوامل روزنه‌ای، عوامل فلورسانس کلروفیل و محتوای رنگ‌دانه دارند، می‌توانند در تلاقی با گروه‌هایی که از درصد بقا و عملکرد دانه بیشتری برخوردارند، قرار گیرند. نتایج هر یک از صفات مورفوفیزیولوژیک و بیوشیمیایی و همبستگی آن‌ها با عملکرد و اجزای عملکرد می‌توانند بسته به شرایط متغیر محیطی از اهمیت بیشتری برخوردار باشند. برخلاف نتایج آزمایش حاضر، احتمالاً در زمستان‌های سخت زنجیره انتقال الکترون و کارکرد دستگاه فتوسنتز با بقای زمستانه همبستگی مثبتی داشته باشند. به‌عبارت‌دیگر، ضرایب بالاتر خصوصیات یادشده در تجزیه به عامل‌ها احتمالاً نشان‌دهنده پتانسیل بالقوه ژنوتیپ‌ها در زمستان گذرانی موفق به علت خوسرمایی مناسب خواهد بود؛ بنابراین پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های آتی از پتانسیل ژنوتیپ‌های امیدبخش در هر یک از صفات مورفوفیزیولوژیک و بیوشیمیایی به نحو مطلوبی به‌منظور اصلاح و معرفی ارقام استفاده شود.

References

1. Ahmadi, A., & Siosemardeh, A. (2005). Investigation on the physiological basis of grain yield and drought resistance in wheat: Leaf photosynthetic rate, stomatal conductance, and non-stomatal limitations. *International Journal of Agriculture and Biology, 7*(5), 807-811. https://doi.org/1560–8530/2005/07–5–807–811
2. Ashraf, M. H. P. J. C., & Harris, P. J. C. (2013). Photosynthesis under stressful environments: an overview. *Photosynthetica, 51*(2), 163-190. https://doi.org/10.1007/s11099-013-0021-6
3. Bishop, D. L., & Bugbee, B. G. (1998). Photosynthetic capacity and dry mass partitioning in dwarf and semi-dwarf wheat (*Triticum aestivum* L.). *Journal of Plant Physiology, 153*(5-6), 558-565. https://doi.org/10.1016/s0176-1617(98)80204-6
4. Bradford, M. M. (1976). Rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical Biochemistry, 72*, 248-254. https://doi.org/10.1006/abio.1976.9999
5. Colom, M. R., & Vazzana, C. (2003). Photosynthesis and PSII functionality of drought-resistant and drought-sensitive weeping lovegrass plants. *Environmental and Experimental Botany, 49*(2), 135-144. https://doi.org/10.1016/S0098-8472(02)00065-5
6. Dere, S., Gines, T., & Sivaci, R. (1998). Spectrophotometric determination of chlorophyll- a, b and total carotenoid contents of some algae species using different solvents. *Turkish Journal of Botany, 22*, 13-17.
7. DuBois, M., Gilles, K. A., Hamilton, J. K., Rebers, P. A., & Smith, F. (1956). Calorimetric method for determination of sugars and related substances. *Analytical Chemistry, 28*, 350-356. https://doi.org/10.1021/ac60111a017
8. FAOSTAT. (2020). Food and Agriculture Organization. Statistical database of the United Nation Food and Agriculture Organization (FAO) statistical division.
9. Farida Traoré, F., El-Baouchi, A., En-Nahli, Y., Hejjaoui, K., Metougui, M. L., Hamwieh, A., Sohail, Q., Istanbuli, T., Boughribil, S., & Amri, M. (2022). Exploring the genetic variability and potential correlations between nutritional quality and agro-physiological traits in kabuli chickpea germplasm collection (*Cicer arietinum* L.). *Frontiers in Plant Science, 13*, 905320. https://doi.org/10.3389/fpls.2022.905320
10. Farooq, M., Gogoi, N., Barthakur, S., Baroowa, B., Bharadwaj, N., Alghamdi, S. S., & Siddique, K. H. M. (2017). Drought stress in grain legumes during reproduction and grain filling. *Journal of Agronomy and Crop Science, 203*(2), 81-102. https://doi.org/10.1111/jac.12169
11. Grasso, N., Lynch, N. L., Arendt, E. K., & O'Mahony, J. A. (2022). Chickpea protein ingredients: A review of composition, functionality, and applications. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 21*(1), 435-452. https://doi.org/10.1111/1541-4337.12878
12. Hasanfard, A., Rastgoo, M., Darbandi, E. I., Nezami, A., & Chauhan, B. S. (2021). Regeneration capacity after exposure to freezing in wild oat (*Avena ludoviciana* Durieu.) and turnipweed (*Rapistrum rugosum* (L.) All.) in comparison with winter wheat. *Environmental and Experimental Botany, 181*, 104271. https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2020.104271

13. Jukanti, A. K., Gaur, P. M., Gowda, C. L. L., & Chibbar, R. N. (2012). Nutritional quality and health benefits of chickpea (*Cicer arietinum* L.): a review. *British Journal of Nutrition, 108*(1), 11-26. https://doi.org/10.1017/S0007114512000797
14. Morgan, J. M., Rodriguez-Maribona, B., & Knights, E. J. (1991). Adaptation to water-deficit in chickpea breeding lines by osmoregulation: relationship to grain-yields in the field. *Field Crops Research, 27*(1-2), 61-70. https://doi.org/10.1016/0378-4290(91)90022-N
15. Murchie, E. H., & Lawson, T. (2013). Chlorophyll fluorescence analysis: a guide to good practice and understanding some new applications. *Journal of Experimental Botany, 64*(13), 3983-3998. https://doi.org/10.1093/jxb/ert208
16. Nabati, J., Hasanfard, A., Nezami, A., Ahmadi-Lahijani, M. J., & Boroumand Rezazadeh, E. (2021). Gas exchange variables as promising criteria for screening freezing-tolerant faba bean (*Vicia faba* L.) landraces at early growth stages. *Legume Science, 3*(1), 72. https://doi.org/10.1002/leg3.72
17. Nabati, J., Nezami, A., Boroumand Rezazadeh, E., Azari, S. J., & Mohammadi, M. (2020). Evaluation of Freezing tolerance of deci-type chickpea genotypes (*Cicer arietinum* L.) in Mashhad climate conditions. *Journal of Crop Production 12*(4) 121-136. https://doi.org/10.22069/ejcp.2020.16281.2212
18. Nabati, J., Nezami, A., Hasanfard, A., & Haghighat Sheshvan, Z. (2018). The trend of changes in chlorophyll fluorescence parameters in two *Vicia faba* ecotype during freezing stresses. *Iranian Journal Pulses Research, 9*(2), 139-150. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/ijpr.v9i2.59524
19. Nabati, J., Nezami, A., Hasanfard, A., Zare Mehrjerdi, M., & Rastgoo, M. (2021). Selection of lentil (*Lens culinaris* medik.) genotypes by assessing phenological, morphological, yield and yield attributes. *Iran Agricultural Research, 40*(1), 51-60. https://doi.org/10.22099/iar.2021.39466.1427
20. Nabati, J., Nezami, A., Mirmiran, S. M., Hasanfard, A. R., Hojjat, S. S., & Bagheri, A. (2020). Freezing tolerance in some lentil genotypes under controlled conditions. *Seed and Plant Improvement Journal, 36*(2), 183-205. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22092/sppi.2020.123186
21. Nabati, J., Nezami, A., Mirmiran, S. M., Hasanfard, A., & Ahmadi Lahijani, M. J. (2022). The chlorophyll fluorescence parameters response of lentil (*Lens culinaris* Medik.) genotypes to freezing stress. *Iranian Journal of Field Crop Science, 53*(1), 79-93. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22059/ijfcs.2021.313523.654771
22. Nasiri, Z., Nabati, J., Nezami, A., & Kafi, M. (2021). Screening of Kabuli-type chickpea genotypes for salinity tolerance under field condition. *Environmental Stresses in Crop Sciences, 14*(4), 1055-1068. https://doi.org/10.22077/escs.2020.3290.1839
23. Navarrete-Campos, D., Bravo, L. A., Rubilar, R. A., Emhart, V., & Sanhueza, R. (2013). Drought effects on water use efficiency, freezing tolerance and survival of *Eucalyptus globulus* and *Eucalyptus globulus*× *nitens* cuttings. *New Forests, 44*(1), 119-134. https://doi.org/10.1007/s11056-012-9305-0
24. Nezami, A., Nabati, J., Mirmiran, S. M., Hasanfard, A., & Mohammadi, M. (2022). How Does the Freezing Stress in the Seedling Stage Affect the Chickpea's Morpho-Physiological and Biochemical Attributes? Gesunde Pflanzen. https://doi.org/10.1007/s10343-022-00771-7
25. Olcer, H., Lloyd, J. C., & Raines, C. A. (2001). Photosynthetic capacity is differentially affected by reductions in sedoheptulose-1, 7-bisphosphatase activity during leaf development in transgenic tobacco plants. *Plant Physiology, 125*(2), 982-989. https://doi.org/10.1104/pp.125.2.982
26. Ouyang, W., Struik, P. C., Yin, X., & Yang, J. (2017). Stomatal conductance, mesophyll conductance, and transpiration efficiency in relation to leaf anatomy in rice and wheat genotypes under drought. *Journal of Experimental Botany, 68*(18), 5191-5205. https://doi.org/10.1093/jxb/erx314
27. Pang, J., Turner, N. C., Khan, T., Du, Y. L., Xiong, J. L., Colmer, T. D., Devilla, R., Stefanova, K., & Siddique, K. H. (2016). Response of chickpea (*Cicer arietinum* L.) to terminal drought: leaf stomatal conductance, pod abscisic acid concentration, and seed set. *Journal of Experimental Botany, 68*(8), 1973-1985. https://doi.org/10.1093/jxb/erw153
28. Smart, R. E., & Bingham, G. E. (1974). Rapid estimates of relative water content. *Plant Physiology, 53*, 258-260. https://doi.org/10.1104/pp.53.2.258
29. Soheili movahhed, S., Esmaeili, M. A., Jabbari, F., Khorramdel, S., & Fouladi, A. (2017). Effects of water deficit on relative water content, chlorophyll fluorescence indices and seed yield in four pinto bean genotypes. *Journal of Crop Production, 10*(1), 169-190. https://doi.org/10.22069/ejcp.2017.8847.1689
30. Sun, Y., Yan, F., Cui, X., & Liu, F. (2014). Plasticity in stomatal size and density of potato leaves under different irrigation and phosphorus regimes. *Journal of Plant Physiology, 171*(14), 1248-1255. https://doi.org/10.1016/j.jplph.2014.06.002
31. Suri, G. K., Braich, S., Noy, D. M., Rosewarne, G. M., Cogan, N. O., & Kaur, S. (2022). Advances in lentil production through heterosis: Evaluating generations and breeding systems. *Plos One, 17*(2), e0262857. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0262857
32. Voet, D., Voet, J. G., & Pratt, C. W. (2001). *Fundamentals of Biochemistry Upgrade*. New York, Wiley.